



MONITORAMENTO DE SECAS DA AMÉRICA DO SUL UTILIZANDO PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Germano Gondim Ribeiro Neto^{1} & Rodrigo Cauduro Dias de Paiva²*

Resumo – As secas podem ser identificadas em praticamente todas as zonas climáticas, é considerada como um dos desastres naturais que mais causa prejuízos. No geral este desastre está relacionado diretamente com períodos prolongados de níveis pluviométricos abaixo do considerado normal. Na América do Sul diversas regiões são afetadas com frequência pelas secas e muito ainda precisa ser feito para o desenvolvimento de estudos que venham a aprimorar o entendimento e preparação em relação a este tipo de desastre. O presente estudo tem como objetivo principal a avaliação de metodologias de monitoramento e identificação de secas ocorridas América do Sul utilizando como dados de entrada produtos de sensoriamento remoto e modelos de superfície. A identificação e monitoramento das secas foram feitas através do Índice de Precipitação Padronizado (SPI), Anomalia da Umidade do Solo (SMA), Índice Padronizado da Vegetação (SVI) e Anomalia do Armazenamento Terrestre de Água (ATWS). Os resultados mostraram que existe uma boa relação entre os índices e estes conseguiriam identificar a maioria dos eventos de seca registrados para as regiões analisadas. Os mapas de seca foram elaborados a partir da combinação dos índices utilizados e conseguiram identificar e representar a grande maioria dos eventos de seca registrados nos últimos anos.

Palavras-Chave – monitoramento de seca, sensoriamento remoto, América do Sul.

DROUGHT MONITORING FOR SOUTH AMERICA USING REMOTE SENSING PRODUCTS

Abstract – Droughts can be identified in practically all climatic zones, it is considered as one of the most damaging natural disasters and in general is directly related to prolonged periods of pluviometric levels below what is considered normal. In South America, several regions are often affected by droughts and much more needs to be done to develop studies that will improve understanding and preparation for this type of disaster. The present study has as main objective the evaluation of methodologies for the monitoring and identification of droughts that occurred in South America, using as input data remote sensing products and land surface models products. The identification and monitoring of droughts were done through the Standardized Precipitation Index (SPI), Soil Moisture Anomaly (SMA), Standardized Vegetation Index (SVI) and Terrestrial Water Storage Anomaly (ATWS). The results showed that there is a good relationship between the drought indexes and these could identify most drought events recorded for the analyzed regions. The drought maps were elaborated from the combination of the indices used and were able to identify the great majority of drought events recorded in recent years.

Keywords – drought monitoring, remote sensing, South America.

1 - INTRODUÇÃO

A ocorrência de secas já foi detectada na maioria das zonas climáticas não só se limitando naquelas onde ocorre baixos níveis de precipitação, sendo enquadrado como um desastre natural e ainda segundo alguns autores (*Trambauer et.al, 2013; Hagman, 1984*) este tipo de fenômeno

¹ Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, germanogn@hotmail.com.

² Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, rodrigo.paiva@gmail.com.

climático é considerado como o mais complexo e menos entendido. No geral o surgimento deste tipo de desastre está relacionado com períodos extensos de precipitação abaixo do estatisticamente esperado, temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar (Wilhite, 1992).

Nos últimos 100 anos aproximadamente 11 milhões de pessoas foram ao óbito e 2 bilhões foram afetadas devido a secas, sendo dessa forma considerado como segundo desastre natural com maior impacto social (EM-DAT, 2016). Do ponto de vista dos impactos econômicos só entre 2013 e 2014 no Brasil houve prejuízo de mais de 12 bilhões de dólares em perdas na produção agrícola devido a secas (Aon Benfield, 2014). Essas informações servem para ilustrar de uma forma geral a potencialidade de danos que este desastre pode causar a sociedade.

Estudos voltados a análise de mudanças climáticas (eg. IPCC, 2014) vem mostrando existe a chance de ocorrer um crescimento frequência, severidade e duração de eventos hidrológicos extremos (eg. Secas e enchentes). Sendo assim existe uma necessidade da sociedade civil de estar preparada contra eventos de seca e uma forma de se alcançar isso é pela implementação de sistemas de monitoramento para esse tipo de desastre. Estes sistemas são ferramentas estratégicas que fornecem informações que possibilitam uma minimização dos impactos gerados pelas secas. Dessa forma as informações geradas por estes sistemas permitem a aplicação de medidas mitigadoras mais eficientes e promoção do uso sustentável dos recursos hídricos visto que possibilita uma gestão mais otimizadas e precisa.

O crescimento do número e variedade de missões espaciais voltadas para o acompanhamento de variáveis hidrológicas e meteorológicas passou a viabilizar a implementação de sistemas de monitoramento de secas para regiões de grande extensão espacial ou com baixa densidade de postos de coleta de dados dessas mesmas variáveis. A exemplo disso pode-se citar as missões espaciais: *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e *Global Precipitation Measurement* (GPM), *Soil Moisture Ocean Salinity* (SMOS), *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE) (AghaKouchak et al., 2015).

Na América do Sul existem diversas regiões que são atingidas frequentemente por secas e muito ainda precisa ser feito enquanto pesquisas científicas que venham a desenvolver a aprimorar metodologias de monitoramento de seca para essa região. Ainda sendo necessário que estas sejam relacionadas a integração de produtos de sensoriamento remoto para tal fim, visto que muitas regiões deste continente carecem de dados de variáveis relacionadas ao estudo de secas (eg. precipitação, evapotranspiração, umidade do solo, vazão, armazenamento de água, etc).

O presente estudo se enquadra nas linhas de pesquisa das áreas de sensoriamento remoto e produtos de modelos de superfície, ambos aplicados aos recursos hídricos. Sendo assim o objetivo principal deste estudo é avaliação de metodologias de monitoramento e identificação de secas para América do Sul.

2 – METODOLOGIA

Foi adotada a hipótese básica de que é possível identificar e monitorar os eventos de seca que ocorreram na América do Sul utilizando índices de seca e também que pode-se combiná-los de forma qualitativa a fim de tornar mais preciso o monitoramento deste tipo de desastre. A metodologia que foi empregada é dividida basicamente nas seguintes etapas: i) Caracterização da área de estudo; ii) Cálculo dos índices de seca; iii) Análises exploratórias dos índices; iv) Geração dos mapas de seca. O resumo dessas etapas da metodologia e os questionamentos científicos a qual este trabalho visou responder são apresentados na Figura 1.

2.1 – Área de Estudo

A América do Sul corresponde a aproximadamente 12 % da superfície do globo e abrange uma área de grande diversidade em termos de clima, vegetação, topografia e hidrologia. Apresenta

um papel importante na manutenção do clima global e nas interações do ciclo do carbono uma vez que abriga a floresta amazônica, diversas reservas de mata atlântica e outros grandes biomas.

Na América do Sul é comum ocorrer bacias hidrográficas internacionais fazendo com que seja mais difícil a aplicação de um gerenciamento racional e sustentável do uso da água. Sendo assim, informações hidrológicas como as fornecidas por um sistema de monitor de seca seria de grande importância para o manejo otimizado e integrado dos recursos hídricos na escala da América do Sul.

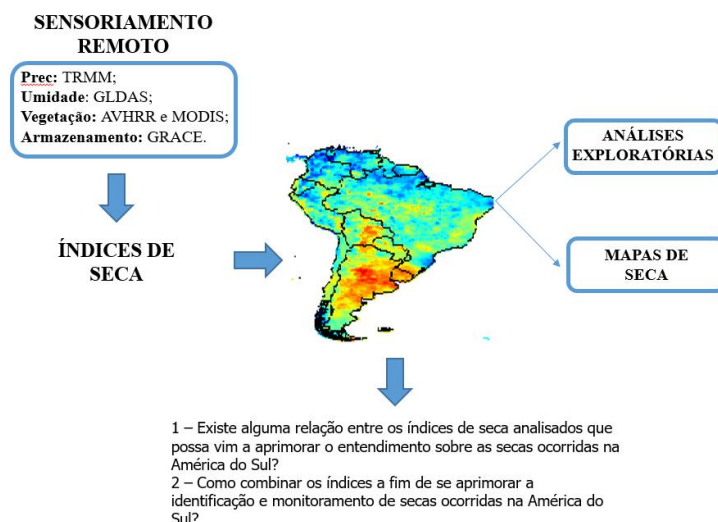


Figura 1 – Fluxograma do resumo da metodologia utilizada

2.2 – Registros de seca

Importante para estudos de secas que se tenha acesso a registros de seca de uma determinada região, contudo esta informação nem sempre está disponível ou é completa. Neste estudo foram utilizados os registros de seca presentes no Banco de Dados de Emergência e Desastres (EM-DAT), este traz informações internacionais de livre acesso sobre diversos tipos de desastres naturais que ocorreram entre 1900 até o presente momento (EM-DAT, 2016). Este banco de dados recebe informações de entidades governamentais de diversos países, agências da Organização das Nações Unidas (ONU), Cruz Vermelha, Agência Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID), Centro Asiático de Redução de Desastres (ADRC), etc. (EM-DAT, 2016). Na Figura 2A são apresentados as principais regiões da América do Sul que foram atingidas por secas nos últimos 35 anos de acordo com as informações do Em-DAT.

2.3 – Dados utilizados

Os produtos que foram utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa são provenientes de diversos satélites (eg. TRMM, Terra e GRACE) que aferem variáveis distintas. Além disso foi utilizada informações do *Global Land Data Assimilation System* que é um conjunto de modelos de superfície capaz de integrar dados produtos de sensoriamento remoto com observações em campo para simulação de diversas variáveis componentes do ciclo hidrológico (Rodell et al., 2004). Alguns detalhes sobre os produtos utilizados são apresentados na Tabela 1 e maiores especificações podem ser consultados nos trabalhos de Kummerow et al., (1997), Tucker et al., (2005), Justice et al., (2002), Tapley et al., (2004), entre outros.

Tabela 1. Produtos de sensoriamento remoto e modelos de superfície que foram utilizados

Produto	Satélite	Pixel	Série Hist	Índice Seca	Informação Principal	Fonte
3B43	TRMM	~25km	1998 - 2016	SPI	Precipitação	https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm
MOD13C2	Terra	~5km	2000 - 2016	SVI	NDVI	https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php
GRCTellus	GRACE	~110km	2002 - 2016	ATWS	Armazenamento de Água	https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/services/grace-gds/gldas
GLDAS	-	~25km	1979 - 2016	SMA	Umidade do Solo	https://grace.jpl.nasa.gov

2.4 – Cálculo dos índices de seca

Os índices de seca utilizados neste estudo foram escolhidos visando identificar a evolução de um evento de seca seguindo a premissa que inicialmente ocorre um déficit de precipitação que em seguida de uma redução na umidade do solo, consequentemente atingi a vegetação e por último o armazenamento de água. Sendo assim o índice que representa as variações da precipitação é o Índice de Padronizado de Precipitação (SPI) que corresponde basicamente a série de dados de chuva ajustada na função gama de distribuição de probabilidade e em seguida aplica-se a função inversa normal, detalhes específicos podem ser consultados no trabalho de McKee et al. (1993). Os demais índices utilizados são: Anomalia da Umidade do Solo (SMA); Índice Padronizado da Vegetação (SVI); Anomalia da Variação do Armazenamento Terrestre de Água (ATWS). Estes índices são calculados como anomalia da série da variável analisada. Esse tipo de metodologia apresenta a vantagem de padronizar os dados e retirar o efeito da sazonalidade. Na equação 1 é apresentada como foi feito o cálculo destes índices.

$$IS_{ijk} = \frac{V_{jk} - \bar{V}_j}{\sigma V_j} \quad (1)$$

Em que IS_{jk} é o índice de seca (e.g. SMA, SVI, ATWS) para durante o mês j e o ano k , V_{jk} é o valor da variável respectiva ao índice de seca em questão para o pixel i durante o mês j e o ano k , \bar{V}_j é a média dos valores o mês j em relação a todos os anos da série e σV_j é o desvio padrão dos valores dessa variável durante o mês j em relação a todos os anos da série. Todos os índices foram calculados considerando considerando-se a escala temporal de 12 meses calculados com um acumulado móvel, visto que isso faz com que a série se aproxime mais da distribuição normal o que faz com que a série fique menos ruidosa. Os produtos utilizados como dado de entrada para cada índice foram apresentados na tabela 1.

2.5 – Análises exploratórias

Esta etapa da metodologia consiste em avaliar a série dos índices citados para o período entre 2003 e 2016 para algumas regiões específicas da América do Sul em que existem uma boa quantidade de registros de seca (Figura 2B). A informação de cada uma destas regiões foi extraída considerando uma mesma área e para cada produto foi calculado o valor médio da variável em questão para só assim serem calculados os índices de seca. Este tipo de abordagem permite identificar visualmente quais índices estão de acordo com os registros de seca feitos para cada região e também possibilita a análise de possíveis relações entre os índices.

A metodologia utilizada neste trabalho para a identificação de eventos de seca seguiu os fundamentos apresentados por *McKee et al. (1993)* em que seca é o período que um dado índice permanece com valores negativos e atingi ou supera o valor -1.

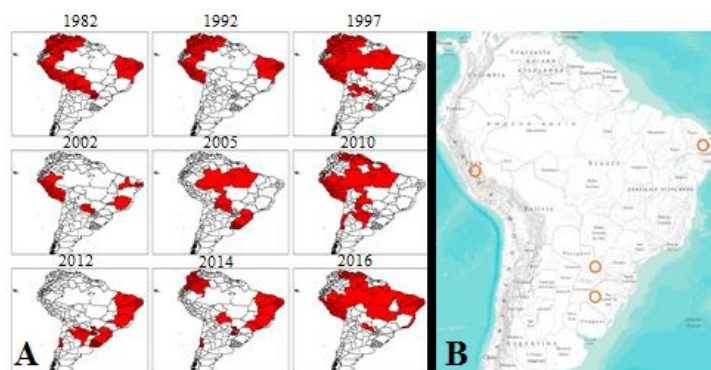


Figura 2 – Principais eventos de seca ocorridos na América do Sul.

2.6 – Geração dos mapas de seca

É bastante útil para sistemas de monitoramento de secas que os dados provenientes dos índices de seca sejam combinados de forma qualitativa, visto que isso resulta em uma informação que pode ser categorizada em níveis de alertas quanto a seca. Para o presente estudo foi aplicada uma metodologia inspirada na utilizada pelo *European Drought Observatory (EDO)* e *United State Drought Monitor (USDM)*. A seguir é apresentada na Tabela 2 como feita a combinação dos índices de seca e a respectiva categorização utilizada.

Tabela 2. Combinação dos índices de seca

SPI	SMA	SVI	ATWS	Categorização
X	X	X	X	Alerta
X	X	X	X	Seca Moderada
X	X	X	X	Seca Severa
X	X	X	X	Seca Extrema
X	X	X	X	Em Recuperação

As marcações em vermelho indicam que o índice em questão está indicando seca e as em verde o oposto disso. Os mapas criados através da combinação apresentada na Tabela 2 podem ser validados visualmente com as informações de registros de seca obtidos através do EM-DAT.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir na Figura 3 é apresentado a série completa dos índices de seca para cada uma das regiões citadas anteriormente. Os retângulos vermelhos presentes nesta figura correspondem aos períodos em que houveram registros de seca para a dada região de acordo com as informações presentes no banco de dados do EM-DAT.

Uma das principais considerações que podem ser feitas analisando a Figura 2 é que no geral pôde-se perceber o efeito esperado de defasagem entre os índices. No geral, estes tendem a acompanhar o crescimento e decrescimento do SPI de forma quase sequencial, em que após uma diminuição do SPI ocorre uma queda no SMA seguido do SVI e por último o ATWS. Com base nisso pode-se afirmar que as secas ocorridas para estas regiões da América do Sul ocorrem em função da

propagação de um déficit de precipitação no ciclo hidrológico. Este comportamento ficou bastante evidente nos períodos de 2012 a 2015 no Nordeste, 2011 e 2012 no Sul e 2012 no Paraguai.

Analisando a Figura 2 pode-se perceber que no geral houve uma boa concordância entre o comportamento dos índices analisados com os registros de seca do banco de dados do EM-DAT. Na maioria das situações os índices estavam negativos durante a ocorrência destes registros, ou seja, estavam indicando a existência de um evento de seca. Este comportamento não ficou bem definido para o final da série dos índices do Peru, ainda assim com exceção do SVI pôde-se perceber uma boa relação entre a variação destes.

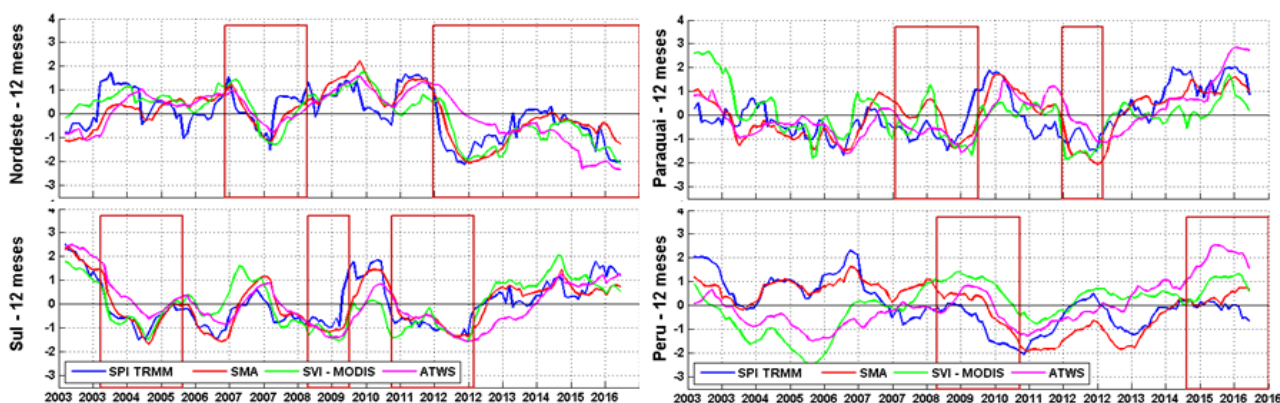


Figura 2 – Série completa dos índices de seca para as regiões analisadas.

Já era esperado que o SMA tivesse uma boa relação com o SPI visto que o GLDAS utiliza em seus modelos de superfície informações de diversos satélites dentre eles o TRMM (Rodell *et al.*, 2004). Isso não despreza as considerações feitas quanto a evolução de um evento de seca, visto que existe uma total independência entre os produtos derivados do TRMM, GRACE e NDVI MODIS. Na figura 3 são apresentados alguns dos mapas de seca gerados pela combinação dos índices.

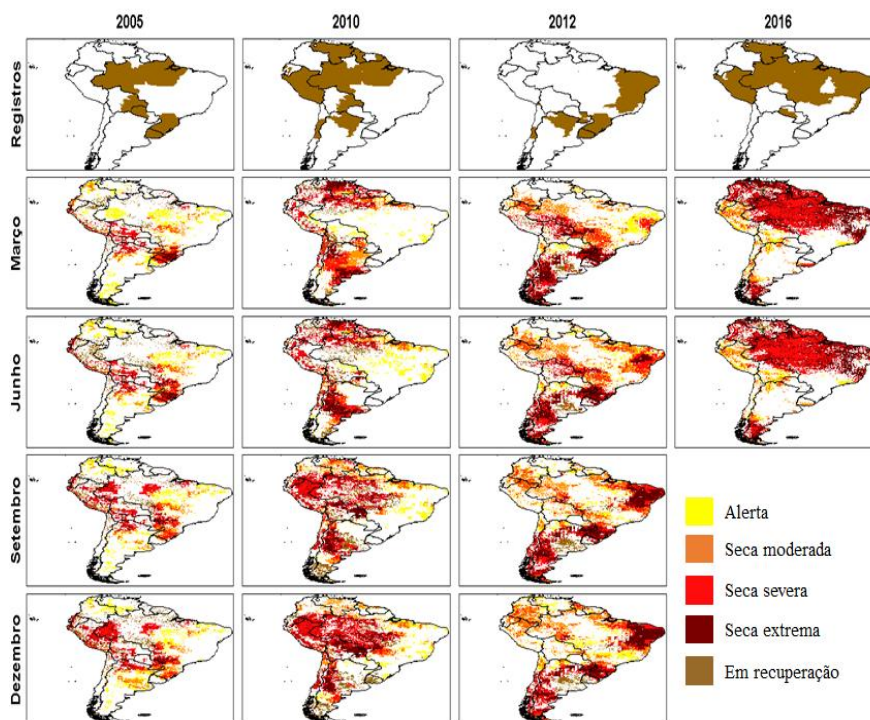


Figura 3 – Mapas de seca da América do Sul elaborados pela combinação dos índices de seca.

Para facilitar a avaliação destes mapas na primeira linha desta figura são apresentados mapas de seca gerados pelas informações dos registros do banco de dados EM-DAT. Visualmente pode-se perceber que houve uma boa equivalência entre os registros feitos com os mapas gerados, em que no geral os resultados obtidos conseguiram representar bem os principais eventos de secas que ocorreram na América do Sul. Alguns eventos intensos de seca como o ocorrido na região amazônica em 2010, no Sul do Brasil em 2005 e 2010 e no Nordeste em 2012 foram identificados com precisão pela metodologia aplicada.

Algumas falhas ocorreram, pela metodologia utilizada em 2005 na região amazônica foi identificada seca apenas em parte dos estados do Amazonas e Acre e sabe-se que neste ano ocorreu um grande evento de seca que abrangeu toda Amazônia como detalhado por Marengo et al., (2008). Também houveram casos que deveriam ser considerados como “falso alarme”, ou seja, casos em que a metodologia identificou a ocorrência de secas que não tiveram devido registro associado no banco de dados do EM-DAT. Esse tipo de situação não pode ser diretamente indicado como falha da metodologia, uma vez que não se tem certeza de que a ausência de informação neste banco de dados corresponde a não ocorrência de seca ou se simplesmente ocorreu e esta não foi registrada.

4 – CONCLUSÕES

Neste trabalho foram avaliadas algumas metodologias de identificação e monitoramento de seca visando se estudar esse tipo de desastre na América do Sul. O principal objetivo foi a elaboração de mapas de seca que combinassem a informação provenientes de diferentes índices de secas calculados com produtos de sensoriamento remoto e modelos de superfície. Os índices de seca utilizados neste estudo identificaram a maioria dos eventos registrados no banco de dados internacional de desastres naturais (EM-DAT). Na maioria dessas situações pôde-se observar uma relação de defasagem entre os índices de seca seguindo a premissa básica considerada neste estudo, em que primeiro ocorre um déficit na precipitação, em seguida isso propaga para umidade do solo que passa afetar a vegetação e por último alcança o armazenamento terrestre de água. A metodologia de elaboração de mapas de seca pela combinação dos índices utilizados foi bastante representativa em que foi possível identificar quase todos os registros de seca para os anos analisados.

Por fim os resultados obtidos neste estudo contribuem para o aprimoramento do entendimento a respeito das secas que ocorreram na América do Sul e para geração de informações úteis e estratégicas a respeito do monitoramento deste tipo de desastre. Além disso os resultados e conclusões obtidos podem ajudar na implementação de um sistema operacional de monitoramento de seca para América do Sul.

As informações geradas por este trabalho podem ainda ser utilizadas em trabalhos futuros que podem servir para promoção de uma gestão dos recursos hídricos mais eficiente e sustentável. Em especial destaca-se estudos de avaliação da influência da disponibilidade de informações de sistemas de monitoramento de seca na gestão otimizada dos recursos hídricos através de modelos hidro-econômicos e estudos sobre geração de mapas de risco e vulnerabilidade a esse tipo de desastre.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio financeiro parcial da CAPES-Brasil.

5 - REFERÊNCIAS

AghaKouchak, A., A. Farahmand, F. S. Melton, J. Teixeira, M. C. Anderson, B. D. Wardlow, and C. R. Hain (2015), Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities, *Rev. Geophys.*, 53, 452–480, doi:10.1002/2014RG000456.

Aon Benfield,. 2014 Annual Global Climate and Catastrophe Report. Londres: [s.n.]. Disponível em:<http://thoughtleadership.aonbenfield.com/Documents/20150113_ab_if_annual_climate_catastrophe_report.pdf>. Acesso em: 2 set. 2016.

EM-DAT. 2016. The OFDA/CRED International Disaster Database. Universite Catholique de Louvain.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., ... & Morisette, J. T. (2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote sensing of Environment*, 83(1), 3-15.

Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J.; Simpson, J.; The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. Notes and Correspondence, vol.15, p.809-817.1997.

Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., Sampaio de Oliveira, G., De Oliveira, R., ... & Brown, I. F. (2008). The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21(3), 495-516.

McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.

Rodell, M., P. R. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.-J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. K. Entin, J. P. Walker, D. Lohmann, and D. Toll, 2004. The Global Land Data Assimilation System, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85(3): 381-394.

Trambauer, P.; Maskey, P.; Winsemius, H.; Werner, M.; Uhlenbrook, S.; A review of continental scale hydrological models and their suitability for drought forecasting in (sub-Saharan) Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 66, p.16-26.2013.

Tucker, C.J.; Pinzon, J.E.; Brown, M.E.; Slatback, D.A.; Pak, E.W.; Mahoney, R.; Vermote, E.F.; Saleous, N.E.; Na Extended AVHRR 8km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, vol.26, p.4485-4498. 2005.

Tapley, B.D.; Bettadpur, S.; Watkins, M.; Reigber, C.; The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophysical Research Letters*, vol. 31. DOI: 10.1029/2004GL019920. 2004.

Wilhite, D.A., 1992. Preparing for Drought: A Guidebook for Developing Countries, Climate Unit, United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya.